

1007285144  
AP20 Rec'd PCT/PTO 16 JUN 2006

## **CARTE DE MANŒUVRABILITE LATERALE POUR MOBILE ET SON PROCEDE D'OBTENTION**

L'invention concerne l'aide à la navigation pour un mobile soumis  
5 à des contraintes de manœuvrabilité et de parcours tel qu'un aéronef évoluant au-dessus d'un territoire présentant des zones interdites de survol en dessous d'un certain plancher ou des reliefs et obstacles à contourner car proches ou supérieurs à son altitude de vol.

Divers systèmes ont été développés pour prévenir l'équipage d'un  
10 aéronef d'un risque de collision avec le sol. Certains, tels que les systèmes TAWS (acronyme de l'expression anglo-saxonne : "Terrain Awareness and Warning System"), font une prévision de trajectoire à court terme pour l'aéronef à partir des informations de vol (position, cap, orientation et amplitude du vecteur vitesse) fournies par les équipements du bord, la  
15 placent en situation par rapport à une carte de la région survolée extraite d'une base de données d'élévations du terrain accessible du bord et émettent des alarmes à destination de l'équipage de l'aéronef à chaque fois que la trajectoire prévisible à court terme entre en collision avec le sol. Ces systèmes TAWS agrémentent leurs alarmes de recommandations  
20 rudimentaires du genre "Terrain Ahead, Pull up". Certains d'entre eux donnent également des informations sur le niveau de risque de collision que font encourir les reliefs et les obstacles environnant l'aéronef sous la forme d'une carte présentant les reliefs ou les obstacles du terrain survolé en strates de couleurs différentes fonction de l'importance du risque encouru.

25 Dans le genre, la demanderesse a proposé, dans une demande de brevet français déposée le 26/9/2003, sous le n°0311320, une carte d'aide à la navigation représentant la zone d'évolution d'un mobile découpée en régions montrées en fausses couleurs et délimitées en fonction de la possibilité du mobile à les franchir et du temps que celui-ci mettrait à les  
30 atteindre lorsqu'elles sont franchissables, par exemple rouge pour des obstacles infranchissables, jaune pour des régions lointaines d'accès et verte pour les régions proches d'accès. Cette carte de navigation est élaborée au moyen d'une carte de distances construite à partir d'une base de données d'élévations du terrain et de parties du relief assimilées à des obstacles à  
35 contourner. La carte de distances répertorie les distances curvilignes séparant la position instantanée du mobile par rapport aux différents points

accessibles de la zone d'évolution cartographiée en ne considérant que les trajets évitant les obstacles à contourner. Ces distances sont estimées au moyen d'une transformée de distance par propagation.

5       Cependant, les cartes d'aide à la navigation connues signalant les parties infranchissables ou interdites de franchissement en tant qu'obstacles à contourner, ne donnent pas d'informations sur les étendues des zones limitrophes des obstacles dans lesquels le mobile a une liberté de manœuvre à court terme réduite du fait de la proximité d'un obstacle à contourner. Or ces informations sont intéressantes, surtout dans le cas d'un aéronef, car  
10       elles peuvent servir à signaler des moments où le pilotage devient plus délicat et où l'équipage doit redoubler d'attention.

      L'invention a pour but de fournir à un mobile une information sur l'étendue de sa liberté de manœuvre latérale dans l'instant présent et à court  
15       et moyen termes.

      Elle a pour objet une carte de manœuvrabilité latérale pour mobile représentant, au sein d'une zone d'évolution, les contours de régions d'entière liberté d'évolution latérale pour le mobile, compte tenu des  
20       capacités manœuvrières du mobile et de la nécessité pour le mobile d'éviter des régions considérées arbitrairement comme infranchissables.

      Avantageusement, la carte de manœuvrabilité latérale est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système de navigation.

25

      Avantageusement, dans le cas où le mobile est un aéronef, la carte de manœuvrabilité latérale est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système TAWS de prévention des risques de collision avec le sol.

30

      Avantageusement, la carte de manœuvrabilité latérale est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système de navigation, les régions d'entière liberté d'évolution latérale ressortant par un masquage semi-transparent.

35

Avantageusement, la carte de manœuvrabilité latérale est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système de navigation, les régions d'entière liberté d'évolution latérale ressortant par un masquage de textures.

5

Avantageusement, la carte de manœuvrabilité latérale pour mobile représente, au sein d'une zone d'évolution, différents types de régions se distinguant entre eux par la possibilité ou non pour le mobile de les franchir et, pour les types de régions franchissables par l'étendue de la liberté de manœuvre latérale laissée au mobile du fait de ses capacités manœuvrières et de la nécessité qu'il a d'éviter les zones infranchissables.

10

Avantageusement, les régions représentées sont au moins de trois types distincts : un premier type correspondant aux régions infranchissables, un deuxième type correspondant à des bandes entourant les régions infranchissables et ayant la largeur d'un espace de manœuvre considéré comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile, et un troisième type correspondant à des régions de libre évolution latérale

15

Avantageusement, les différents types de régions sont représentés en fausses couleurs.

20

Avantageusement, les différents types de régions sont représentés par des textures différentes.

25

Avantageusement, l'un au moins des deuxième et troisième types de région est représenté avec des lignes d'iso distance par rapport aux bordures des régions à contourner.

30

Avantageusement, l'un au moins des deuxième et troisième types de région est représenté avec des dégradés de couleur représentatifs des distances par rapport aux bordures des régions à contourner.

Avantageusement, lorsque la carte de manœuvrabilité latérale à la navigation est destinée à un aéronef, la largeur des bandes constituant le

35

deuxième type de région tient compte des performances instantanées de l'aéronef.

Avantageusement, lorsque la carte de manœuvrabilité latérale est destinée à un aéronef, la largeur des bandes constituant le deuxième type de région tient compte de l'enveloppe de vol de l'aéronef.

Avantageusement, lorsque la carte de navigation est destinée à un aéronef, la largeur Sd des bandes constituant le deuxième type de région est déterminée par application de la relation :

$$Sd = HLD\_M + HLD\_T + \sqrt{\left(\frac{HLD\_L}{2}\right)^2 + HLD\_T^2}$$

HLD\_M étant une marge de sécurité,

HLD\_L étant une donnée de configuration définie en temps de vol ou en distance parcourue au sol,

HLD\_T étant un rayon de virage répondant à la relation :

$$HLD\_T = \frac{GS^2}{g \times \tan(HLD\_B)}$$

g étant l'accélération de la pesanteur

GS étant la vitesse sol de l'aéronef et

HLD\_B la valeur maximale acceptée pour l'angle de roulis pris en virage par l'aéronef.

Elle a également pour objet un procédé d'élaboration d'une carte de manœuvrabilité latérale couvrant une zone d'évolution pour un mobile comprenant des régions franchissables et des régions infranchissables remarquable en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration, à partir de la connaissance de régions infranchissables à contourner et des éléments d'une base de données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution, d'une carte de distances couvrant la zone d'évolution du mobile à cartographier et donnant les distances de ses points extérieurs aux régions à contourner, par rapport aux bordures des régions considérées arbitrairement comme infranchissables,

- assemblage en régions d'entière liberté d'évolution latérale, des points connexes dont les distances fournies par la carte de distance sont supérieures à un seuil considéré arbitrairement comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile, et

- 5                   - représentation des contours de ces régions d'entière liberté d'évolution latérale.

Elle a également pour objet un procédé d'élaboration d'une carte de manœuvrabilité latérale couvrant une zone d'évolution pour un mobile  
10   comprenant des régions franchissables et des régions infranchissables remarquable en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration, à partir de la connaissance de régions infranchissables à contourner et des éléments d'une base de données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution, d'une carte de distances  
15   couvrant la zone d'évolution du mobile à cartographier et donnant les distances de ses points extérieurs aux régions à contourner, par rapport aux bordures des régions considérées arbitrairement comme infranchissables,

- les régions infranchissables étant considérées comme un premier type de région, assemblage en régions d'un deuxième type, des  
20   points connexes dont les distances fournies par la carte de distance sont inférieures à un seuil considéré arbitrairement comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile, et en régions d'un troisième type, des points connexes dont les distances fournies par la carte distance sont supérieures au dit seuil, et,

25                   - représentation de la zone d'évolution sous forme d'un découpage selon ces trois types de région.

Avantageusement, la carte de distances utilisée dans le procédé d'obtention de la carte de manœuvrabilité latérale est obtenue au moyen  
30   d'une transformée de distance de chanfrein.

Avantageusement, dans le procédé d'obtention de la carte de manœuvrabilité latérale, les distances mentionnées dans la carte de distances sont utilisées pour tracer des lignes d'iso distance par rapport aux  
35   bordures des régions à contourner.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple. Cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

- 5 - une figure 1 représente une première étape de l'élaboration d'une carte de manœuvrabilité latérale selon l'invention consistant en un marquage par zéro des cellules des régions considérées comme inaccessibles,
- une figure 2 représente un exemple de masque de chanfrein utilisable  
10 par une transformée de distance par propagation utilisée pour les estimations de distance,
- des figures 3a et 3b montrent les cellules du masque de chanfrein illustré à la figure 3, qui sont utilisées dans une passe de balayage selon l'ordre lexicographique et dans une passe de balayage selon  
15 l'ordre lexicographique inverse,
- une figure 4 représente une deuxième étape de l'élaboration d'une carte de manœuvrabilité latérale selon l'invention consistant à estimer les distances des cellules des régions accessibles par rapport aux limites des régions inaccessibles,
- 20 - une figure 5 représente une façon d'estimer la largeur de l'espace minimum nécessaire à la libre évolution latérale d'un aéronef,
- une figure 6 montre une troisième étape de l'élaboration d'une carte de manœuvrabilité latérale selon l'invention consistant à délimiter autour des régions inaccessibles, par seuillage des distances  
25 estimées, des bandes entourant les régions inaccessibles de largeur insuffisante pour une libre évolution du mobile, les portions restantes de la carte étant considérées comme appartenant à des régions de libre évolution latérale pour le mobile,
- 30 - une figure 7 représente un exemple de carte de manœuvrabilité latérale selon l'invention, et
- une figure 8 représente un schéma d'un dispositif d'aide à la navigation pour aéronef affichant une carte de manœuvrabilité latérale selon l'invention.

L'élaboration de la carte de manœuvrabilité latérale couvrant une zone d'évolution s'appuie sur :

- une base de données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution et renfermant des valeurs maximales d'altitude correspondant à un découpage en cellules rectangulaires de la zone d'évolution,
- une localisation des cellules rectangulaires résultant du découpage de la zone d'évolution adopté dans la base de données d'élévations du terrain, qui font partie de régions à contourner pour diverses raisons : relief considéré comme infranchissable, zone interdite de pénétration, etc.,
- les paramètres du mouvement actuel du mobile. Dans le cas d'un aéronef, il s'agit de son vecteur vitesse, de sa position, de son altitude, de son attitude, etc.,
- les paramètres théoriques de l'enveloppe du volume minimum de dégagement autour du mobile nécessaire à sa libre évolution latérale.

Comme montré à la figure 1, l'élaboration de la carte de manœuvrabilité latérale commence par la construction d'une carte de distances initiée par l'affectation autoritaire d'une estimation de distance nulle aux cellules de la zone cartographiée résultant du découpage adopté pour la base de données d'élévations du terrain, qui appartiennent à des parties de la zone d'évolution considérées comme devant être contournées.

La sélection de ces cellules résulte de différentes considérations qui ne seront pas détaillées ici car ne faisant pas partie de l'invention. Pour un aéronef, il peut s'agir de cellules correspondant à des reliefs proches ou supérieurs à la consigne d'altitude de son plan de vol ou à une prévision de l'altitude de l'aéronef à court ou moyen terme basée sur ses paramètres de vol actuels. Il peut également s'agir de zones interdites de survol totalement ou en dessous d'une altitude minimum supérieure à la consigne d'altitude de du plan de vol de l'aéronef ou d'une prévision de son altitude à court ou moyen terme.

Une fois les cellules des parties à contourner affectées autoritairement d'estimation distance nulle, la construction de la carte de manœuvrabilité latérale se poursuit par les estimations de distance des autres cellules de la zone cartographiée par rapport aux bords des parties à

contourner, c'est-à-dire par les estimations des longueurs des trajets les plus courts allant des cellules concernées à la partie à contourner la plus proche. Elles se font avantageusement à l'aide d'une transformée de distance par propagation également connue sous la dénomination de transformée de distance de chanfrein.

Les transformées de distance de chanfrein sont apparues initialement en analyse d'image pour estimer des distances entre objets. Gunilla Borgefors en décrit des exemples dans son article intitulé " Distance Transformation in Digital Images." paru dans la revue : Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 34 pp. 344-378 en février 1986.

La distance d'entre deux points d'une surface est la longueur minimale de tous les parcours possibles sur la surface partant de l'un des points et aboutissant à l'autre. Dans une image formée de pixels répartis selon un maillage régulier de lignes, colonnes et diagonales, une transformée de distance par propagation estime la distance d'un pixel dit pixel "but" par rapport à un pixel dit pixel "source" en construisant progressivement, en partant du pixel source, le plus court trajet possible suivant le maillage des pixels et aboutissant au pixel but, et en s'aidant des distances trouvées pour les pixels de l'image déjà analysés et d'un tableau dit masque de chanfrein répertoriant les valeurs des distances entre un pixel et ses proches voisins.

Pour estimer la distance entre un pixel but et le bord d'un objet, on considère l'objet comme formé d'un ensemble de pixels source et l'on adopte, comme estimation de distance, la plus courte des distances estimées entre le pixel but et les différents pixels source de l'objet.

Comme montré à la figure 2, un masque de chanfrein se présente sous la forme d'un tableau avec une disposition de cases reproduisant le motif d'un pixel entouré de ses proches voisins. Au centre du motif, une case affectée de la valeur 0 repère le pixel pris pour origine des distances répertoriées dans le tableau. Autour de cette case centrale, s'agglomèrent des cases périphériques remplies de valeurs de distance de proximité non nulles et reprenant la disposition des pixels du voisinage d'un pixel supposé occuper la case centrale. La valeur de distance de proximité figurant dans une case périphérique est celle de la distance séparant un pixel occupant la position de la case périphérique concernée, d'un pixel occupant la position

de la case centrale. On remarque que les valeurs de distance de proximité se répartissent en cercles concentriques. Un premier cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de premier rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale, soit sur la même ligne, soit sur la même colonne, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D1. Un deuxième cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de deuxième rang, qui sont pixels les plus proches du pixel de la case centrale placés sur les diagonales, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D2. Un troisième cercle de huit cases correspondant aux huit pixels de troisième rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale tout en restant en dehors de la ligne, de la colonne et des diagonales occupées par le pixel de la case centrale, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D3.

Le masque de chanfrein peut couvrir un voisinage plus ou moins étendu du pixel de la case centrale en répertoriant les valeurs des distances de proximité d'un nombre plus ou moins important de cercles concentriques de pixels du voisinage. Il peut être réduit aux deux premiers cercles formés par les pixels du voisinage d'un pixel occupant la case centrale comme dans l'exemple de cartes de distances des figures 4, 6 ou être étendu au-delà des trois premiers cercles formés par les pixels du voisinage du pixel de la case centrale. Il est habituel de s'arrêter à trois premiers cercles comme pour le masque de chanfrein montré à la figure 3.

Les valeurs des distances de proximité D1, D2, D3 qui correspondent à des distances euclidiennes sont exprimées dans une échelle dont le facteur multiplicatif autorise l'emploi de nombres entiers au prix d'une certaine approximation. C'est ainsi que G. Borgefors adopte une échelle correspondant à un facteur multiplicatif 3 ou 5. Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les deux premiers cercles de valeurs de distance de proximité, donc de dimensions 3x3, G. Borgefors donne, à la première distance de proximité D1, qui correspond à un échelon en abscisse ou en ordonnée et également au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 3 et, à la deuxième distance de proximité, qui correspond à la racine de la somme des carrés des échelons en abscisse et en ordonnée  $\sqrt{x^2 + y^2}$ , la valeur 5. Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les trois premiers cercles, donc de dimensions 5x5, elle donne, à la distance D1 qui correspond au

facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 5, à la distance D2, la valeur 7 qui est une approximation de  $5\sqrt{2}$ , et à la distance D3 la valeur 11 qui est une approximation de  $5\sqrt{5}$ .

La construction progressive du plus court trajet possible allant à un pixel but, en partant d'un pixel source et en suivant le maillage des pixels se fait par un balayage régulier des pixels de l'image au moyen du masque de chanfrein. Initialement, les pixels de l'image se voient affecter une valeur de distance infinie, en fait un nombre suffisamment élevé pour dépasser toutes les valeurs des distances mesurables dans l'image, à l'exception des pixels source qui se voient affecter une valeur de distance nulle. Puis les valeurs initiales de distance affectées aux points but sont mises à jour au cours du balayage de l'image par le masque de chanfrein, une mise à jour consistant à remplacer une valeur de distance attribuée à un point but, par une nouvelle valeur moindre résultant d'une estimation de distance faite à l'occasion d'une nouvelle application du masque de chanfrein au point but considéré.

Une estimation de distance par application du masque de chanfrein à un pixel but consiste à répertorier tous les trajets allant de ce pixel but aux différents pixels source et passant par un pixel du voisinage du pixel but dont la distance a déjà été estimée au cours du même balayage, à rechercher parmi les trajets répertoriés, le ou les trajets les plus courts et à adopter la longueur du ou des trajets les plus courts comme estimation de distance. Cela se fait en plaçant le pixel but dont on veut estimer la distance dans la case centrale du masque de chanfrein, en sélectionnant les cases périphériques du masque de chanfrein correspondant à des pixels du voisinage dont la distance vient d'être mise à jour, en calculant les longueurs des trajets les plus courts reliant le pixel but à mettre à jour au pixel source le plus proche en passant par un des pixels sélectionnés du voisinage, par addition de la valeur de distance affectée au pixel du voisinage concerné et de la valeur de distance de proximité donnée par le masque de chanfrein, et à adopter, comme estimation de distance, le minimum des valeurs de longueur de trajet obtenues et de l'ancienne valeur de distance affectée au pixel en cours d'analyse.

L'ordre de balayage des pixels de l'image influe sur la fiabilité des estimations de distance et de leurs mises à jour car les trajets pris en compte

en dépendent. En fait, il est soumis à une contrainte de régularité qui fait que si les pixels de l'image sont repérés selon l'ordre lexicographique (pixels classés dans un ordre croissant ligne par ligne en partant du haut de l'image et en progressant vers le bas de l'image, et de gauche à droite au sein d'une ligne), et si un pixel  $p$  a été analysé avant un pixel  $q$  alors un pixel  $p+x$  doit être analysé avant le pixel  $q+x$ . Les ordres lexicographique, lexicographique inverse (balayage des pixels de l'image ligne par ligne de bas en haut et, au sein d'une ligne, de droite à gauche), lexicographique transposé (balayage des pixels de l'image colonne par colonne de gauche à droite et, au sein d'une colonne, de haut en bas), lexicographique transposé inverse (balayage des pixels par colonnes de droite à gauche et au sein d'une colonne de bas en haut) satisfont cette condition de régularité et plus généralement tous les balayages dans lesquels les lignes et colonnes sont balayées de droite à gauche ou de gauche à droite. G. Borgefors préconise un double balayage des pixels de l'image, une fois dans l'ordre lexicographique et une autre dans l'ordre lexicographique inverse.

La figure 3a montre, dans le cas d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique allant du coin supérieur gauche au coin inférieur droit de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 1 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont au nombre de huit, disposées dans la partie supérieure gauche du masque de chanfrein. Il y a donc huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la longueur est prise pour estimation de la distance.

La figure 3b montre, dans le cas d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique inverse allant du coin inférieur droit au coin supérieur gauche de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 1 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont complémentaires de celles de la figure 2a. Elles sont également au nombre de huit mais disposées dans la partie inférieure droite du masque de chanfrein. Il y a donc encore huit trajets répertoriés pour

la recherche du plus court dont la longueur est prise pour estimation de la distance.

La figure 4 illustre la carte de distance obtenue à la deuxième étape de l'élaboration de la carte de manoeuvrabilité latérale, après  
5 application à la figure 1, de la transformée de distance de chanfrein utilisant le masque de chanfrein de dimension 5x5 de la figure 3.

Au cours de l'étape suivante, illustrée à la figure 5, d'élaboration de la carte de manoeuvrabilité latérale, les estimations de distance contenues dans les cellules de la zone cartographiée correspondant au découpage  
10 adopté pour la base de données d'élévations du terrain sont utilisées pour délimiter les différentes régions représentées. Les cellules affectées d'une estimation de distance nulle, qui correspondent, par hypothèse à des parties de la zone d'évolution considérées comme devant être contournées sont représentées d'une manière spécifique, par exemple d'une couleur rouge ou,  
15 comme sur la figure 5, avec une texture à hachures serrées, signifiant qu'elles constituent des régions interdites d'accès. Les cellules affectées d'estimations de distance non nulle mais inférieure à un certain seuil en deçà duquel l'on considère que la proximité d'une région interdite d'accès limite, à court ou moyen terme, la liberté d'évolution latérale du mobile, seuil qui est  
20 pris ici à 17 dans l'échelle adoptée, sont représentées, par exemple de couleur jaune ou, comme sur la figure 5, avec une texture à quadrillage ou à hachures moins serrées que les hachures recouvrant les cellules affectées d'estimations de distance nulles. Elles forment des bandes d'une certaine largeur entourant les régions interdites d'accès dans lesquelles on considère  
25 que le mobile a sa liberté d'évolution latérale à court terme limitée par la proximité d'une ou plusieurs régions interdites d'accès. Les autres cellules affectées d'estimations de distance supérieure au seuil considéré sont représentées, par exemple par une couleur verte signifiant qu'elles constituent des régions dans lequel le mobile conserve toute sa liberté  
30 d'évolution latérale à court terme ou encore, comme sur la figure 5 sans aucune couleur ni texture. Bien entendu, la représentation de la région formée par les cellules affectées d'estimations de distance inférieures au seuil, comme celle de la région formée des cellules affectées d'estimations de distance supérieures au seuil peuvent être plus fouillées par exemple avec

des dégradés de couleur correspondant à l'évolution de l'estimation distance ou avec des lignes d'iso distance.

Le seuil de distance pris en compte pour signaler une restriction à court ou moyen terme de la liberté d'évolution latérale d'un mobile dépend de la manœuvrabilité du mobile. Dans le cas d'un aéronef, il peut être défini à partir des :

- procédures aéronautiques,
- marges requises de sécurité,
- paramètres actuels de vol de l'aéronef,
- conditions de vol définies par l'enveloppe de vol de l'aéronef.

On peut notamment admettre qu'un aéronef conserve sa liberté d'évolution latérale à court ou moyen terme s'il est capable de décrire un hippodrome d'attente, d'un côté ou de l'autre de sa trajectoire actuelle sans modifier sa vitesse actuelle ou être soumis en virage à des contraintes mécaniques dépassant un certain seuil de tolérance exprimé par un angle limite de roulis. Dans cette hypothèse, le seuil de distance à respecter est le rayon du cercle circonscrit aux deux trajectoires possibles pour l'hippodrome d'attente augmenté d'une marge de sécurité.

Comme montré à la figure 6, les deux trajectoires 40, 41 possibles pour l'hippodrome d'attente forment deux lobes tangents à la trajectoire actuelle 42 de l'aéronef. Chacune d'elles comporte deux longueurs HLD\_L réunies par deux demi-tours de rayon HLD\_T.

La valeur des longueurs HLD\_L est une donnée de configuration définie en temps de vol ou en distance parcourue au sol. La valeur du rayon HLD\_T des demi-tours supposés effectués à plat, à vitesse sol GS et à angle de roulis HLD\_B constant, répond à la relation :

$$HLD\_T = \frac{GS^2}{g \times \tan(HLD\_B)}$$

la vitesse sol GS étant une donnée fournie par les équipements de l'aéronef, HLD\_B une donnée de configuration calculée en fonction des performances théoriques de l'aéronef et g l'accélération de la pesanteur.

La valeur du rayon HLD\_R du cercle 43 circonscrit aux deux trajectoires possibles 40, 41 pour l'hippodrome d'attente, répond à la relation :

$$HLD\_R = HLD\_T + \sqrt{\left(\frac{HLD\_L}{2}\right)^2 + HLD\_T^2}$$

En final, le seuil de distance  $Sd$  adopté pour la largeur des bandes entourant les obstacles à contourner prend la valeur :

$$Sd = HLD\_M + HLD\_T + \sqrt{\left(\frac{HLD\_L}{2}\right)^2 + HLD\_T^2}$$

- 5 HLD\_M étant une marge de sécurité supplémentaire par rapport au rayon HLD\_R du cercle circonscrit aux deux trajectoires possibles de l'hippodrome d'attente.

La figure 7 montre comment la zone d'évolution apparaît en final dans la carte de manœuvrabilité latérale. Chaque région interdite d'accès 50  
 10 est isolée des régions de libre évolution latérale 51 par une bande de séparation 52 de largeur  $Sd$  dépendant des performances et la vitesse sol de l'aéronef ainsi que des contraintes en virage. Les régions interdites d'accès sont représentées d'une manière, par exemple au moyen d'une couleur rouge, les bandes de séparation d'une autre manière, par exemple au moyen  
 15 d'une couleur jaune et les régions de libre évolution latérale d'une autre manière par exemple au moyen d'une couleur verte afin qu'elles se distinguent aisément les unes des autres. Comme indiqué précédemment, la carte de manœuvrabilité latérale peut être plus détaillée et comporter des lignes d'iso distance par rapport aux bordures des régions interdites d'accès.  
 20 Elle peut également comporter des dégradés de couleur toujours représentatifs des distances par rapport aux régions interdites d'accès.

Dans une autre utilisation, également très intéressante, la carte de manœuvrabilité latérale est réduite à sa plus simple expression, c'est-à-dire au recensement des régions de libre évolution latérale, et mise en  
 25 transparence par-dessus une carte existante de la même zone, tracée par un système de navigation ou par un système TAWS de protection contre les risques de collision sol. Son procédé d'obtention est alors simplifié puisque l'on extrait alors de la carte de distances que les contours des régions d'entière liberté d'évolution latérale en distinguant les points connexes des  
 30 régions franchissables dont les distances sont supérieures au seuil considéré arbitrairement comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile. Dans cette autre utilisation, l'information sur les contours des régions de libre évolution latérale apportée par la carte de manœuvrabilité latérale est

ajoutée à la carte existante en donnant, aux zones de libre évolution, une pigmentation spécifique faisant ressortir ces régions sans cacher les informations déjà présentes, par exemple au moyen d'un masque semi-transparent de couleur blanche.

5           La carte de manœuvrabilité latérale, qui vient d'être proposée, a l'avantage de permettre la prise en compte d'une marge latérale de sécurité vis à vis des bords des régions considérées comme interdites d'accès, cela indépendamment du processus de détermination des régions interdites d'accès. Dans le cas d'un aéronef, cela permet d'ajouter une marge latérale  
10 de sécurité autour des reliefs considérés comme dangereux par les systèmes anti-collision terrain existants. Toujours dans le cas d'un aéronef, cette carte a également l'avantage de présenter une marge latérale de sécurité tenant compte des performances instantanées de l'aéronef et des conditions de vol définies par son enveloppe de vol.

15           La figure 8 montre un dispositif d'aide à la navigation pour aéronef, affichant une carte de manœuvrabilité latérale. Celui-ci se compose essentiellement d'un calculateur 60 associé à une base de données d'élévations du terrain et de zones interdites de survol 61, aux équipements de navigation 62 de l'aéronef et à un dispositif d'affichage visuel 63. La base  
20 de données d'élévations du terrain et de zones interdites 61 peut être embarquée à bord de l'aéronef comme cela est représenté, ou placée au sol et accessible de l'aéronef par radio-transmission. Le calculateur 60 peut être un calculateur spécifique à l'élaboration et l'affichage d'une carte de navigation répertoriant éventuellement les risques de collision sol que font  
25 encourir les reliefs et obstacles au sol survolés ou un calculateur partagé avec d'autres tâches comme la gestion du vol ou le pilote automatique. Il reçoit des équipements de navigation 62 de l'aéronef, les principaux paramètres de vol dont la position de l'aéronef en latitude, longitude, et altitude, et la direction et l'amplitude de son vecteur vitesse qui lui permettent  
30 de déterminer à chaque instant la position à la surface du globe terrestre, l'orientation et les dimensions d'une zone d'évolution à afficher. En possession de l'orientation et des dimensions de la zone d'évolution à afficher, il extrait de la base de données d'élévations du terrain et des zones interdites de survol 61, une grille de localisation cartographiant la zone  
35 d'évolution sélectionnée et place sur cette grille les contours des zones

interdites de survol. Il procède ensuite à l'élaboration d'une carte des distances par rapport aux contours des zones interdites de survol. Il calcule un seuil de distance minimum nécessaire à une libre évolution latérale de l'aéronef et utilise ce seuil pour délimiter en largeur des bandes entourant les zones interdites de survol, considérées comme trop proches des zones interdites de survol pour permettre une libre évolution latérale. Puis il fait apparaître sur le dispositif d'affichage visuel 63 une carte de la zone d'évolution montrant distinctement les zones interdites de survol, les bandes les entourant et les autres régions qui sont de libre évolution.

## REVENDICATIONS

5           1. Carte de manœuvrabilité latérale pour mobile caractérisée en ce qu'elle représente, au sein d'une zone d'évolution, les contours de régions (51) d'entière liberté d'évolution latérale pour le mobile, compte tenu des capacités manœuvrières du mobile et de la nécessité pour le mobile d'éviter des régions (50) considérées arbitrairement comme infranchissables.

10           2. Carte selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système de navigation.

15           3. Carte selon la revendication 2, adaptée à un mobile constitué d'un aéronef pourvu d'un système de prévention des risques de collision avec le sol délivrant une carte des risques de collision sol, caractérisé en ce qu'elle est ajoutée, en transparence, sur la carte des risques de collision sol.

20           4. Carte selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'elle est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système de navigation, les régions d'entière liberté d'évolution latérale ressortant par un masquage semi-transparent.

25           5. Carte selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'elle est ajoutée, en transparence, sur une carte délivrée par un système de navigation, les régions d'entière liberté d'évolution latérale ressortant par un masquage à l'aide de textures.

30           6. Carte selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle représente, au sein d'une zone d'évolution, différents types (50, 51, 52) de régions se distinguant entre eux par la possibilité ou non pour le mobile de les franchir et, pour les types de régions franchissables(51, 52) par l'étendue de la liberté de manœuvre latérale laissée au mobile du fait de ses capacités manœuvrières et de la nécessité qu'il a d'éviter les zones infranchissables  
35           (50).

7. Carte selon la revendication 6, caractérisée en ce que les régions représentées sont au moins de trois types distincts : un premier type (50) correspondant aux régions infranchissables, un deuxième type (52) correspondant à des bandes entourant les régions infranchissables et ayant la largeur d'un espace de manœuvre considéré comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile, et un troisième type (51) correspondant à des régions de libre évolution

8. Carte selon la revendication 6, caractérisée en ce que les différents types (50, 51, 52) de régions sont représentés en fausses couleurs.

9. Carte selon la revendication 6, caractérisée en ce que les différents types (50, 51, 52) de régions sont représentés par des textures différentes.

10. Carte selon la revendication 6, caractérisée en ce que l'un au moins des deuxième (52) et troisième (51) types de région est représenté avec des lignes d'iso distance par rapport aux bordures des régions à contourner.

11. Carte selon la revendication 6, caractérisée en ce que l'un au moins des deuxième (52) et troisième (51) types de région est représenté avec des dégradés de couleur représentatifs des distances par rapport aux bordures des régions à contourner.

12. Carte selon la revendication 7, caractérisée en ce que la largeur des bandes (52) constituant le deuxième type de région tient compte des performances instantanées de l'aéronef.

13. Carte selon la revendication 7, caractérisée en ce que la largeur des bandes (52) constituant le deuxième type de région tient compte de l'enveloppe de vol de l'aéronef.

14. Carte selon la revendication 7, caractérisée en ce que la largeur  $Sd$  des bandes (52) constituant le deuxième type de région est déterminée par application de la relation :

$$Sd = HLD\_M + HLD\_T + \sqrt{\left(\frac{HLD\_L}{2}\right)^2 + HLD\_T^2}$$

- 5 HLD\_M étant une marge de sécurité,  
HLD\_L étant une donnée de configuration définie en temps de vol ou en distance parcourue au sol,  
HLD\_T étant un rayon de virage répondant à la relation :

$$HLD\_T = \frac{GS^2}{g \times \tan(HLD\_B)}$$

- 10 g étant l'accélération de la pesanteur,  
GS étant la vitesse sol de l'aéronef et  
HLD\_B la valeur maximale acceptée pour l'angle de roulis pris en virage par l'aéronef.

- 15 15. Procédé d'obtention d'une carte selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration, à partir de la connaissance de régions considérées comme infranchissables et à contourner, et des éléments d'une base de données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution, d'une carte de distances (figure 4) couvrant la zone d'évolution du mobile à cartographier et donnant les distances de ses points extérieurs aux régions à contourner, par rapport aux bordures des régions à contourner,
- assemblage (figure 5) en régions d'entière liberté d'évolution latérale, des points connexes dont les distances fournies par la carte de distance sont supérieures à un seuil considéré arbitrairement comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile, et
- représentation (figure 5) des contours de ces régions d'entière liberté d'évolution latérale.

- 30 16. Procédé d'obtention d'une carte selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration, à partir de la connaissance de régions considérées comme infranchissables et à contourner, et des éléments d'une base de

données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution, d'une carte de distances (figure 4) couvrant la zone d'évolution du mobile à cartographier et donnant les distances de ses points extérieurs aux régions à contourner, par rapport aux bordures des régions à contourner,

- 5                   - les régions à contourner étant considérées comme un premier type de région, assemblage (figure 5) en régions d'un deuxième type, des points connexes dont les distances fournies par la carte de distance sont inférieures à un seuil considéré arbitrairement comme nécessaire à une libre évolution latérale du mobile, et en régions d'un troisième type des points  
10 connexes dont les distances fournies par la carte distance sont supérieures au dit seuil, et,

                  - représentation (figure 5) de la zone d'évolution sous forme d'un découpage selon ces trois types de région.

- 15                   17. Procédé selon la revendication 15 ou la revendication 16, caractérisé en ce que la carte de distances est obtenue au moyen d'une transformée de distance de chanfrein.

18. Procédé selon la revendication 15 ou la revendication 16,  
20 caractérisé en ce que les distances mentionnées dans la carte de distances sont utilisées pour tracer des lignes d'iso distance par rapport aux bordures des régions infranchissables.

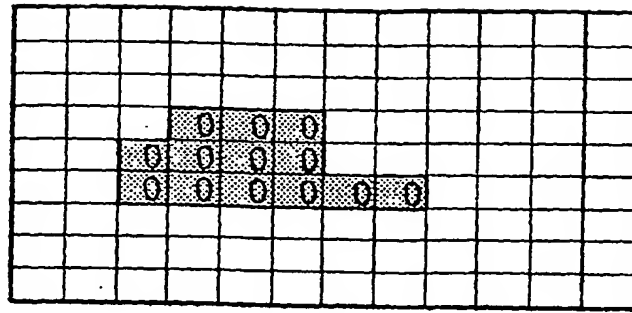


FIG. 1

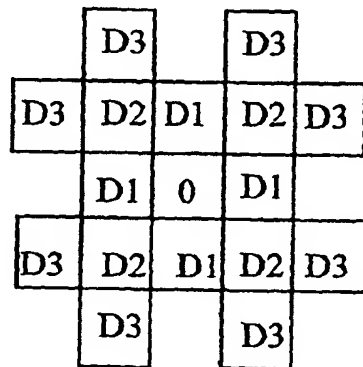


FIG. 2

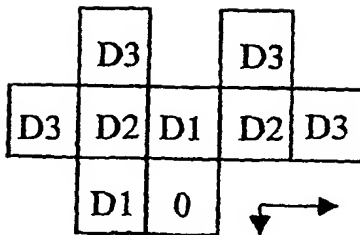


FIG. 3a

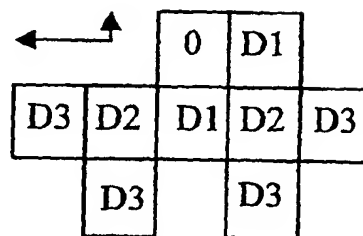


FIG. 3b

21	16	16	15	15	15	16	16	18	22	27	33
18	14	11	10	10	10	11	14	18	22	27	28
14	11	7	5	5	5	7	11	16	19	21	25
11	7	5	0	0	0	5	10	15	14	18	22
10	5	0	0	0	0	5	5	7	11	16	21
10	5	0	0	0	0	0	0	5	10	15	20
11	7	5	5	5	5	5	5	7	11	16	21
14	11	10	10	10	10	10	10	11	14	18	22
18	16	15	15	15	15	15	15	16	18	21	25

FIG.4

21	16	16	15	15	15	15	16	18	22	27	33
18	14	11	10	10	10	11	14	18	22	27	28
14	11	7	5	5	5	7	11	16	19	21	25
11	7	5	0	0	0	5	10	15	14	18	22
10	5	0	0	0	0	5	5	7	11	16	21
10	5	0	0	0	0	0	0	5	10	15	20
11	7	5	5	5	5	5	5	7	11	16	21
14	11	10	10	10	10	10	10	11	14	18	22
18	16	15	15	15	15	15	15	16	18	21	25

FIG.5

3/4

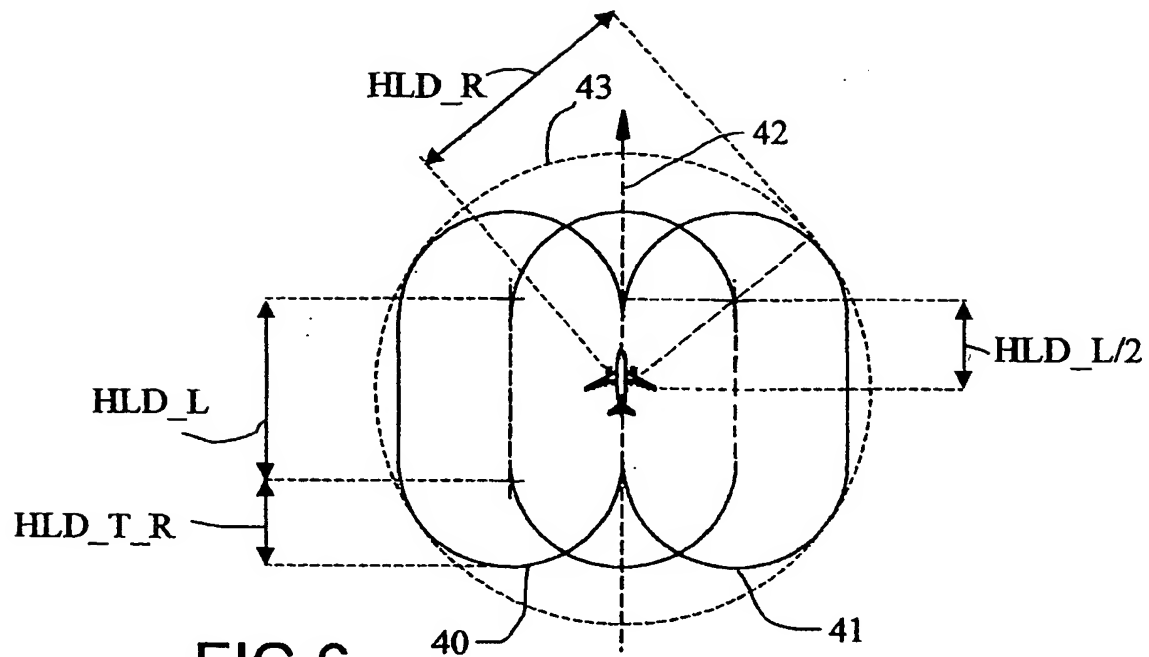


FIG. 6

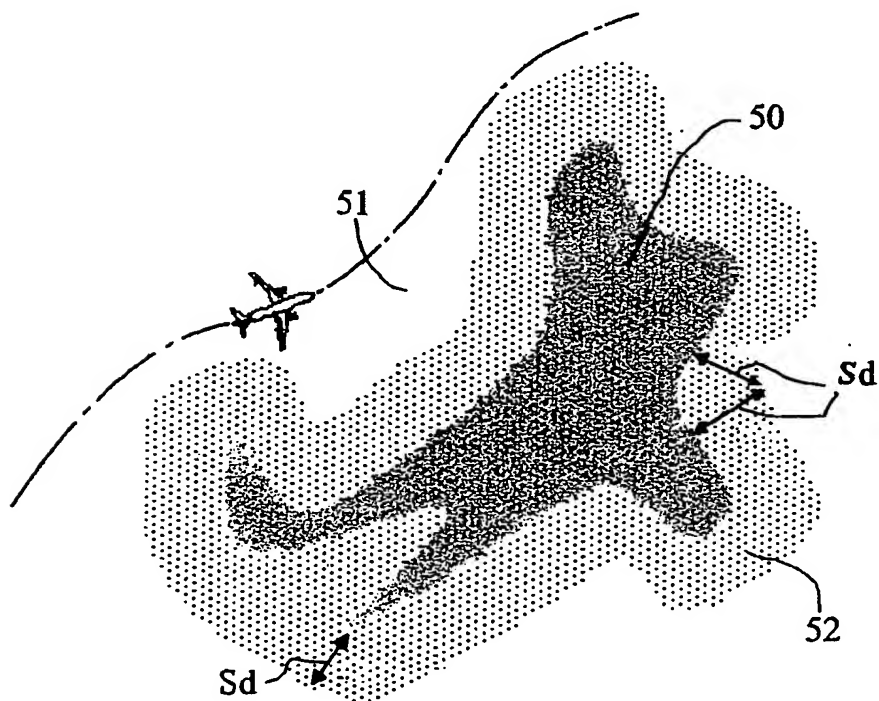


FIG. 7

